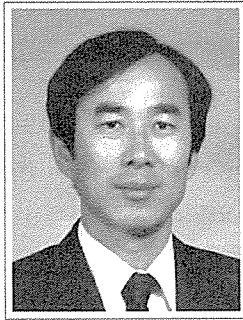




APR1400 안전 규제 기술 개발 및 규제 방향

오성헌

한국원자력안전기술원 안전규제부장



안전 규제 기술 개발의 배경 및 목적

원자력발전소의 안전성을 향상시키고, 국가 경제와 원자력 산업의 지속적인 발전을 위해 차세대 원자로 기술 개발 사업이 국가 선도 기술 개발 사업(G-7 Project)의 일환으로 1992년부터 시작하여 2001년까지 약 10년 동안 수행되었다.

차세대 원자로 설계 기술 개발과 병행하여 추진된 차세대 원자로 안전 규제 기술 개발 사업은 원전의 안전성 확보와 관련하여 종합적인 안전 규제의 법적, 제도적 장치를 마련

하고, 체계적인 안전 요건 체계를 구축하기 위한 공동의 목표하에 추진 되었으며, 기존의 부족한 안전 규제 요건을 보완하고 향후 원전의 안전성 증진을 위한 법적 기틀을 구비하는 것이었다.

이에 따라 차세대 원자로 안전 규제 기술 개발 사업의 일반적인 목표는 1) 차세대 원자로 상용화에 대비하여 안전 규제 기술 능력을 확보하고, 2) 차세대 원자로 안전성 증진을 위한 국제 수준의 안전 규제 기술 기준을 개발하고, 3) 차세대 원자로 설계 안전성 측면에서 사업자에게 기술 지원을 하도록 설정하였다.

좀 더 구체적인 안전 규제 기술 개발의 범위를 살펴보면 1) 표준 설계의 안전성 검토를 위한 인·허가 절차 및 제도를 개발하고, 2) 차세대 원자로의 부지, 설계, 운전, 품질 보증 분야의 안전 요건 및 기술 기준을 개발하고, 3) 설계 단계에서 핵심 안전 현안을 도출하여 조기에 해결 방안을 모색함으로써 차세대 원자로

인·허가의 안정성을 증진시키고, 4) 사업자 기술 지원의 일환으로 차세대 원자로 설계의 사전 안전성 평가를 수행하는 것이었다.

안전 규제 기술 개발의 연구 내용

차세대 원자로 설계 기술 개발과 안전 규제 기술 개발 사업의 주요 연구 내용은 <표 1>에 단계별로 요약 하였다.

1단계 설계 개발에서는 개발 노형 선정에 초점을 맞추고 있듯이 안전 규제 연구에서도 우리나라 여건에 적합한 체계적인 안전 규제 요건의 개발 방향 수립에 초점을 맞추었다.

이를 위해 국내외 신형 원자로 설계 및 규제 기술의 일반 현황을 분석 하였고, 국내외 신형 원자로의 주요 안전 현안들을 분석, 평가하였으며, 각국의 안전 규제 요건 체계들을 비교, 분석하였다. 이 단계에서 일부 안전 규제 기본 요건에 대한 개발도 이루어졌다.

〈표 1〉 차세대 원자로 안전 규제 기술 개발 사업의 주요 연구 내용

구분	차세대 원자로 설계 기술 개발	차세대 원자로 안전 규제 기술 개발
1단계 (1992.12~1994.12)	<ul style="list-style-type: none"> 개발 노형 확정 개념 설계 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 원자로 안전 규제 요건 체계 개발 안전 규제 기본 요건 : 안전 목표 및 원칙 개발
2단계 (1995.3~1999.2)	<ul style="list-style-type: none"> 기본 설계 개발 표준 안전성 분석 보고서 작성 원자로 계통 주요 기기 사양 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 안전 규제 일반 안전 요건 개발 안전 규제 상세 안전 요건 개발 핵심 기술현안 도출 및 해결 방안 연구 표준 설계인·허가제도 및 절차 개발
3단계 (1999.3~2001.12)	<ul style="list-style-type: none"> 표준 설계 인가 취득 최적화 설계 장기 소요 항목 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 안전 규제 지침 개발 안전 심사 지침 개발 인·허가 절차 및 안전 규제 요건의 법제화 안전 규제 요건의 전산화

2단계는 설계 기술 개발과 마찬가지로 본 사업에서 가장 중요한 안전 요건들을 개발한 시기였다.

먼저, 1단계에서 개발한 안전 규제 요건 체계도를 수정, 보완하여 완성도를 높였으며, 개발된 안전 목표 및 원칙으로부터 가장 핵심이 되는 일반 안전 요건과 상세 안전 요건을 전 분야에 걸쳐 종합적이고 체계적으로 개발하였다.

이 개발 내용은 매우 방대한 양으로 본 연구 사업의 핵심 개발 내용이므로 아래 안전 규제요건의 법제화장에서 좀 더 자세히 소개하고자 한다.

이 시기에는 또한 핵심 기술 현안을 해결하기 위한 심층적인 연구가 산·학·연의 공동 노력으로 수행되었으며, 표준 설계 인가 절차와 사전 안전성 평가 제도 등에 대한 연구

도 집중적으로 수행되었다.

3단계에서는 2단계에 개발한 안전 규제 요건을 수정, 보완하고 기존 원자력 법령상의 기술 기준들과 비교, 분석하여 법제화를 추진하는 것이 주요 업무 중의 하나였다.

또한 차세대 원자로의 안전 규제 지침으로서 표준 안전성 분석 보고서의 작성 지침과 설계, 시공 및 성능 검증 지침서를 개발하여 사업자의 설계 문서 개발을 지원하기도 하였다.

이 시기에는 이러한 안전 규제 요건 개발과 병행하여 신형경수로 1400(APR1400) 표준 설계의 안전성 평가를 위한 규제 기관의 안전 심사 지침도 개발되었으며, 인·허가 일환으로 사전 안전성 검토도 수행되었다.

APR1400 표준 설계의 사전 안전성 검토는 주요 핵심 기술 현안을 조기에 도출하여 건설 및 운영 허가 이전에 기술적 해결 방안을 모색함으로써 인·허가의 안정성을 조기에 확보하자는 데 목적이 있었다.

안전 규제 기술 개발의 연구 결과

차세대 원자로 안전 규제 기술 개발은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 반복 건설을 목표로 하는 표준 설계의 인·허가 제도와 절차를 개발하는 것이고, 다른 하나는 APR1400 표준 설계의 안전성을 확보하기 위해 준수해야 할 안전 요건 및 기술 기준을 개발하는 것이다.

본 절에서는 후자에 해당되는 차세대 원자로 안전 규제 요건 개발의 주요 연구 결과들을 간략히 소개한다.

차세대 원자로의 안전 규제 요건 개발은 기존 한국표준형원전과 일관성이 있으면서, 기존 규제 요건의 미진한 부분을 개선, 보완하고, 향후 상용화될 차세대 원자로의 부지, 설계, 운영, 품질 보증 등 종합적인 체계를 갖도록 개발하고자 했다.

특히, 체계적인 안전 규제를 위하여 궁극적인 안전의 지향 목표로부터 구체적인 안전 규제 방법론에 이르는 일련의 계층을 구성하여 안전 요건을 개발하였다.

또한 국내외 기존 안전 요건을 근간으로 차세대 원자로의 안전성 증진을 위한 추가적 안전요건을 고려하여 우리나라에 적합한 안전 기준



〈표 2〉 국내외 안전 규제 기술 요건의 체계 비교

차세대원자로 안전 규제 기술 요건 체계	기 존 체 계			
	대한민국	미 국	일 본	국제원자력기구
안전 목표 및 원칙	원자력법 원자력법 시행령	원자력법 신형로 관련 정책성명	원자력기본법 원자로등 규제법	Safety Fundmt'ls INSAG-3, -10 TECDOC-801
일반 안전 요건	원자력법 시행령 - 위치, 성능, 구조 설 비, 운영, 품질 보증 등	10CFR20 방사선 방호 10CFR50 App.A GDC 10CFR50 App.B QA 10CFR73 물리적 방호 10CFR100 부지 선정	통상산업성령 원자력안전위원회지침 - 발전용 경수형 원자로 시설에 관한 안 전 지침	Safety Standards - SS 50-C-D - SS 50-C-S - SS 50-C-O - SS 50-C-QA
상세 안전 요건	장관 고시, 훈령 등	10CFR (Standard) SRP (Acceptance Criteria)	원자력안전위원회 지침 (통상산업성 고시)	Safety Guides - 50-SG-D1 ... - 50-SG-O1 ... - 50-SG-QA1 ...
안전 규제 지침		Regulatory Guides	원자력안전위원회 지침	Safety Practices
안전 심사 지침		SRP (Review, Method, Procedures)	원자력안전위원회 지침	

을 개발하고자 했으며, 향후 연구 개발 내용도 체계적으로 반영할 수 있도록 융통성을 가지도록 하였다.

즉, 신형 원자로의 획기적인 안전성 증진, 방사선 위험도의 최소화, 그리고 공공의 신뢰도 증진을 목표로 기존 안전 요건의 개선, 보완뿐만 아니라, 국제적 수준의 안전 기준을 확립할 수 있도록 분야별, 계층별로 구분된 안전 요건을 개발하였다.

본 연구 사업에서 체계적으로 개발한 안전 규제 기술 요건과 기존의 체계를 비교하여 <표 2>에 나타내었다.

국내 원자력법령뿐만 아니라 미국 원자력규제위원회(USNRC)의 상세 기술 기준, 국제원자력기구(IAEA)의 안전 요건 체계, 기타 원

자력 선진국들의 규제 요건들을 참조, 분석하여 반영하였다.

본 연구 사업 기간 동안에 개발된 주요 안전 요건 체계 및 기술 기준은 약 65권의 한국원자력안전기술원의 기술 보고서로 발간되었으며, 여기서는 이를 참조하여 각 계층별 안전 요건들을 간략히 설명하고자 한다.

1. 신형 원자로의 안전 목표

원전 작업 종사자들과 대중 보호, 사회 시설과 자연 보호를 위한 일반 안전 목표와 방사선방호 목표를 설정하였으며, 사고 예방 및 완화를 위한 기술 안전 목표, 그리고 노심 손상 빈도와 방사능 대량 누출 빈도로 구성된 정량적 보조 목표를 개발하였다.

안전 목표는 안전 원칙과 함께 과학기술부의 '원자력안전정책성명'과 '중대사고정책성명'에 반영되었으며, 향후 정책 성명 제?개정 작업에도 활용될 것이다.

2. 신형 원자로의 안전 원칙

안전 목표를 달성하기 위해 원칙적으로 다루어져야 할 안전의 주안점으로서 안전 관리, 품질 보증 계획의 수립 및 이행, 안전성 평가 및 검증 등 6개의 일반 안전 원칙, 심층 방어 강화 및 입증 기술의 사용 등 2개의 설계 안전 원칙, 운전 절차서의 수립, 보수/시험/검사 등 4개의 운전 안전 원칙 그리고 부지 안전 원칙 등 총 13개 항목으로 개발되었다.

3. 신형 원자로의 일반 안전 요건

안전 원칙을 만족시키기 위해 준수해야 할 일반 안전 요건은 안전성 확신을 위한 전반적이고 함축적인 개념을 바탕으로 설정되었다.

크게 5개 분야, 즉 부지/환경(6개 항목), 설계(33개 항목), 운전(19개 항목), 품질 보증(3개 항목) 및 해체(추후 개발) 분야로 구성되었으며, 하위 요건인 상세 안전 요건의 기본적인 근간을 제공하도록 개발하였다.

특히, 설계 분야에는 안전 기능, 설계 기준 및 중대 사고, 인간 공학, 신뢰도, 각 계통별 안전 요건 등 안전성 증진 요소들이 체계적으로 반영되었다.

개발된 일반 안전 요건은 과학기술부령으로 법제화되었다.

4. 신형 원자로의 상세 안전 요건

안전 원칙을 만족시키기 위해 준수해야 할 기술적 세부 요건으로서 안전 규제에서 요구되는 기술 요건의 최종 명시 단계이다.

상위 요건인 일반 안전 요건과 직접적인 연계를 가지면서 필요에 따라 안전 규제 지침 및 산업 기술 기준과 연계되도록 개발하였다.

전체 체계는 일반 안전 요건과 일관성 있게 5개 분야, 즉 부지/환경, 설계, 운전, 품질 보증 및 해체로 구성하였으며, 총 23장, 429개 항목으로 개발되었다.

개발된 상세 안전 요건은 일부 안전 규제 지침과 함께 과학기술부 고시로 법제화되었다.

5. 안전 규제 지침 및 안전 심사 지침

필수적인 안전규제 요건을 반영 혹은 준수하기 위해 선택적으로 제시되는 허용 가능한 방법론 혹은 사양들을 명시하는 안전규제 지침이 전 분야에 걸쳐 개발되었다.

총 163개의 안전 규제 지침을 개발하였으며, 신규 원전의 안전 심사에 전문 분야별로 활용되고 있다.

또한 차세대 원자로의 안전 심사를 일관성 있고 효율적으로 수행하기 위해 안전 심사 범위, 심사 방법 및 분야별 연계성을 제시한 안전 심사 지침을 개발하여 안전기술원의 내부 지침으로 활용하고 있다.

안전 규제 기술 개발 결과의 법제화

본 규제 기술 개발 연구 사업의 또 하나의 의미 있는 개발 결과물은 표준 설계인 APR1400의 인·허가 절차와 제도의 개발이다.

새로운 설계 개념을 반영한 APR1400은 표준 설계에 의한 반복 건설을 목표로 하고 있어 사업 초기부터 표준 설계에 대한 효율적이고 능동적인 법적 인·허가 절차와 제도를 개발하는 것이 필요하였다.

이에, 본 사업에서는 사전 안전성 검토 제도, 표준 설계 인가 제도, 통합 인허가 제도, 조기부지 허가 제도 그리고 관련된 규제 요건을 조사, 분석하여 우리나라 환경에 적합한 규

제 요건을 개발하였다.

이 중 사전 안전성 검토 제도는 표준 설계 인가 제도가 법적으로 구비되기 전에 차세대 원자로 안전성 평가에 한시적으로 적용된 바 있으며, 표준 설계 인가 제도는 APR 1400 표준설계에 적용되어 지난 2002년 5월에 표준 설계 인가를 발급한 바 있다.

본 사업의 일환으로 개발된 표준 설계 인가 절차와 규제 요건은 원자력법과 관계 법령의 초안으로 작성되어 과학기술부, 원자력 사업자, 유관 기관과의 협의를 거쳐 수정, 보완되었으며, 원자력안전위원회 심의를 거쳐 법제화의 절차를 밟았다.

최종적으로 2001년 1월 16일, 표준 설계 인가 제도를 신설하는 원자력법 개정 법률안이 공고되어 법적 위상을 부여받았으며, 계속적으로 동 법 시행을 위한 이행 지침들이 원자력법 시행령과 시행규칙에 반영되어 2001년 7월 28일 개정 법률안 공고와 함께 법제화가 마무리되었다.

이후 동 법에 따라 원전 사업자는 APR1400의 표준 설계 인가를 신청하였으며, 과학기술부와 한국원자력안전기술원은 국내에서 개발한 안전 요건을 근거로 국내 기술력으로 안전 심사를 수행하였다.

차세대 원자로 기술 개발 사업이 시작된 지 꼭 11년 만의 일로 우리나라 최초의 표준 설계인가를 발급하는 업적을 남겼으며, 향후 신형 원자로의 조기 안전성 확보를 위한 법적, 제도적 기반을 마련했다고 볼 수 있다.



한편, APR1400의 표준 설계 인가와 건설·운영 허가를 위한 기술 기준에 해당하는 것이 일반 안전 요건이며 이에 대한 법제화도 이루어졌다.

법적으로 허가 기준에 해당하는 일반 안전 요건은 본 사업의 핵심 연구 결과물로서 수 차례의 유관 기관 전문가들의 검토, 자문을 거쳐 수정, 보완되었으며, 공동 노력의 결과 신설된 과학기술부령으로 지난 2001년 법적 위상을 부여받았다.

과학기술부령 제31호로 제정된 “원자로 시설 등의 기술 기준에 관한 규칙”은 기존 기술 기준의 개선 뿐만 아니라 안전성 증진과 관련된 신규 조항들도 다양한 분야에 걸쳐 포함하고 있어, 향후 원전의 안전성 증진에 상당히 기여할 것으로 본다.

또한, 그 동안 미비했던 국내 원자력 기술 기준의 법적 근거를 체계적으로 마련함으로써 사업자와 규제자의 이해 폭도 넓어질 것으로 기대된다.

이밖에도 개발된 상세 안전 요건과 안전 규제 지침은 과학기술부 고시로 단계적인 법제화를 추진하였으며, 일부는 원자력안전기술원의 규제 지침으로 활용되고 있다.

그리고 새로운 표준 설계 인가 제도에서 요구하는 표준설계안전성분석보고서 작성 지침과 표준설계기술서(설계·시공·성능 검증 계획) 작성 지침을 개발하여 사업자가 참조할 수 있도록 하였으며, 안전 심사에 기준과 범위가 되는 안전 심사 지

〈표 3〉 표준 설계 인가 제도 도입에 따라 신설된 원자력 관계 법령

법령	해당 조문	특기 사항
원자력법	제12조의2 (표준설계인가) 제12조의3 (표준설계인가의 취소)	- 표준설계인가의 신청, 범위, 유효 기간, 취소 등
원자력법 시행령	제21조의3 (허가의 처리기간) 제24조 (표준설계인가의 신청) 제25조 (표준설계 변경인가의 신청) 제26조 (표준설계인가 제외대상)	- 건설/운영 허가 처리 기간 - 과학기술부장관에게 신청 - 신기술의 반영, 안전성 확인 불가능 사항은 제외 등
원자력법 시행규칙	제11조의2 (표준설계인가 신청 등) 제11조의3 (표준설계인가 첨부 서류의 작성) 제11조의4 (표준설계인가의 기준) 제11조의5 (표준설계인가의 유효기간) 제11조의6 (검증계획 이행) 제11조의7 (표준설계인가 변경의 신청) 제11조의8 (경미한 사항의 변경신고)	- 신청서식지, 표준설계기술서 및 표준설계안전성분석보고서의 기술 사항 등 - 표준설계의 기술기준 등 - 건설 및 운영 허가 신청자의 검증 계획 이행 등

침을 개발하여 한국원자력안전기술원의 업무 지침으로 사용하고 있다. 다음은 상기 안전 규제 요건의 법제화 내용을 간단히 정리한 것이다.

1. 원자력법에 표준 설계 인가 제도 신설

표준 설계 인가 제도의 도입 목적은 표준 원전에 대한 인·허가의 효율성을 제고하고, 원자력 안전성에 대한 대의 공신력을 증진시키며, 결과적으로 원자력 산업의 진흥과 경쟁력을 향상시키는 데 있다.

이 제도는 기존의 인·허가 제도와 별도로 법령에 규정함으로써 사업자가 선택적으로 활용할 수 있으며, 한 번 심사된 내용은 안전성에 영향을 미치지 않는 한 지속적인 효

력을 갖게 함으로써 사업자와 규제자 모두에게 이득이 될 수 있는 제도이다.

표준 설계 인가 제도 도입에 따라 신설된 혹은 개정된 원자력 관계 법령의 법 조항은 〈표 3〉에서 보는 바와 같으며 주요 내용은 다음과 같다.

- 신청 절차 : 원자로 및 관계시설의 표준 설계에 대해 인가를 받고자 하는 자는 표준설계기술서, 표준설계안전성분석보고서 등의 제출서류와 함께 신청서를 과학기술부장관에게 제출하여야 한다.

- 신청 서류의 상세도 : 설계, 건설, 운영에 대한 종합적인 안전성이 확인될 수 있도록 충분한 수준의 설계 완성도와 체계성을 갖춘 문서가

제출되어야 한다.

- 효력 : 표준 설계 인가를 받은 설계에 대해서는 10년간 법적 유효 기간을 부여한다.

- 검증 계획의 이행 : 표준설계 기술서의 주요 내용인 설계, 시공, 성능 검증 계획은 발전소를 건설, 운영하는 자가 운영 허가 시점까지 이행하여야 한다.

2. 과학기술부령에 기술 기준 제정

일반 안전 요건을 법제화한 과학기술부령 제31호 “원자로 시설 등 기술 기준에 관한 규칙”은 신형 원자로의 안전성 증진 요소를 포함하고 있지만, 기존 기술 기준과 일관성을 유지하면서 체계성을 갖추기 위해 기존 체계의 상당 부분을 개편하였다.

기존 원자력법 시행령의 “제3관 운영에 관한 안전 조치(제102조부터 제112조)”와 원자력법 시행규칙 “원자로 시설 등의 기술 기준에 관한 규칙: 제1절 위치, 제2절 구조 및 설비, 제3절 성능, 제4절 품질 보증”을 재구성하여 신설된 과학기술부령 제31호 원자로 시설 등의 기술 기준에 관한 규칙: 제1절 위치, 제2절 구조·설비 및 성능, 제3절 운영, 제4절 품질 보증”으로 단일화하여 체계화하였다.

기술 기준의 내용 측면에서는 앞서 언급하였듯이 기존 항목과 본 사업을 통해 개발된 일반안전 요건을 비교, 분석하여 조항을 통합하거나 신설하였다.

일반 안전 요건에는 우리나라 원전에 이미 적용하고 있는 기술 도입국, 미국의 안전 요건, 10CFR과 일반 설계 기준(General Design Criteria)이 체계적으로 반영되었으며, 신형 원자로에서 요구하는 국제 원자력기구의 안전 기준들도 안전성 증진 측면에서 종합적으로 반영되었다.

이러한 관점에서 새롭게 신설된 과학기술부령 제31호는 APR1400 표준 설계에서 요구하는 기술 기준을 종합적이고 체계적으로 반영했다고 볼 수 있으며, 국내 신형 원자로에 적용 가능한 국내 고유의 기술 기준을 마련했다고 볼 수 있다. 향후 개발될 기술 기준도 또한 쉽게 반영할 수 있도록 하였다.

3. 과학기술부 고시 및 원자력정책성명의 제정

안전 규제 요건의 최상위 요건으로 개발된 안전 목표와 안전 원칙은 지난 2001년 8월 29일 원자력안전위원회에 의결을 거쳐 과학기술부의 ‘중대사고정책성명’으로 공포된 바 있다.

이의 후속 조치로 사업자는 중대 사고 관리 이행 계획서를 제출하여 규제 기관의 검토를 받고 있는 상태이다.

또한, 신형 원자로의 안전 목표와 원칙은 지난 1994년에 발행된 ‘원자력안전정책성명’의 개정 작업에 활용될 것으로 보인다.

이밖에도 발전소의 전 분야, 즉

부지/환경, 설계, 운영 및 품질 보증 분야에 대해 개발된 방대한 양의 상세 안전 요건과 안전 요건을 준수하기 위해 선택적으로 제시되는 허용 방법론이나 사양들을 명시한 안전 규제 지침들도 일부 과학기술부 고시로 법제화되었다.

일부는 기존 고시나 현재 사업자가 준용하고 있는 미국의 규제 지침(Regulatory Guides)과 일관성 및 체계성을 유지하기 위해 좀 더 검토가 필요한 상태에 있다.

APR1400 표준 설계 안전 심사

APR1400의 표준 설계 인가를 위한 안전 심사는 2000년 1월부터 2년이 넘게 한국원자력안전기술원에서 전문 분야별로 수행되었다.

초기에는 사전 안전성 검토 제도 하에서 수행되었으나 앞서 언급하였듯이 2001년 7월에 표준 설계 인가 제도가 법제화되면서 이후 이 제도하에서 안전성이 검토되었다.

APR1400 표준 설계의 안전성 검토 과정에서는 새로운 설계와 관련된 많은 쟁점 사항들이 제기 및 논의되었으며, 원전 사업자, 설계자, 심사자 그리고 국내외 전문가들의 심층적인 토의와 협의를 거쳐 그 해결 방안이 모색되었다.

일부 쟁점 사항들은 심층적인 연구와 산·학·연의 공동 노력을 필요로 하기도 했다.

다음은 표준 설계 인가를 위한 주요 심사 주안점, 심사 결과, 후속 조



치 등을 요약하여 정리한 것이다.

1. 심사의 주관점

APR1400 표준설계에 대한 안전 심사는 2000년 1월부터 시작한 사전 안전성 검토를 포함하여 한수원(주)이 2001년 7월 신규로 제정된 표준 설계 인가 절차에 따라 표준설계기술서, 표준설계안전성분석보고서, 비상운전절차서 작성 계획 등의 인허가 서류를 제출하면서 본격적으로 시작되었다.

한국원자력안전기술원은 기존 및 신규 안전 규제 요건을 근거로 약 28개월 동안 전문 분야별로 신청 서류를 심층 검토하였으며, 기본적으로 한국표준형원전(울진 3,4호기, 영광 5,6호기, 울진 5,6호기 등)의 인허가 심사 경험을 활용하여 발전소의 전반적인 구조물, 계통 및 기기 설계에 대한 종합적인 안전성을 평가하였다.

이와 더불어, 원자로 용기 직접 주입 방식의 안전 주입 계통, 중대 사고 대처 설비, 디지털 계측 제어 계통, 첨단 인간 기계 연계 설비, 격납 건물 내 핵연료 저장장 수조 등과 같이 APR1400 표준 설계에 도입된 신기술의 타당성과 분야별 신기술 도입에 따른 실증 실험의 필요성, 설계 특이성에 대한 안전 해석 전산 코드 체계 및 해석 방법론의 타당성, 설계 안전성 향상을 위한 기술 기준의 적용 타당성 등을 중점적으로 검토하였다.

또한, 안전 심사 전반에 걸쳐 인

허가의 쟁점이 될 수 있는 사안들은 조기에 도출하여 집중적인 검토를 수행하였으며, 아울러 동 심사 과정에서 국내 산·학·연 전문가들로 구성된 안전현안협의회를 운영하여 인허가 쟁점 사항들을 주기적으로 점검, 토의해 해결 방안을 모색해 나갔다.

2. 심사의 결과

표준 설계 인가 심사 과정에서는 안전성 증진을 위해 도입된 신설 개념 및 표준 설계 범위와 관련하여 다양한 사항들이 제기 및 논의되었다.

이 중에 주요 쟁점 사항은 인허가 서류의 상생성, 심사 범위 등과 관련한 다음 사항들이었다.

첫째로, 인허가 서류인 표준안전성분석보고서와 표준설계기술서의 기술 상세도를 어느 정도까지 할 것인가 하는 것이었다.

이 사항은 국내외 전문가들의 많은 논의 과정을 통해 기존 표준형원전에서 제출되는 예비안전성분석보고서(PSAR)와 최종안전성분석보고서(FSAR)의 중간 수준으로 최종 정리되었으며, 이는 미국의 규제 요건과도 일관성이 있는 것이었다.

둘째로는, 새로운 계통 및 기기의 성능 시험 자료 제출 여부였는데, 이 사항에 대해서는 원자력발전소 설계에서 기본적으로 입증 기술을 적용한다는 원칙하에 심사과정에서 해당 실험자료를 제출하여 검토 받는 것으로 정리되었다.

셋째로는, 디지털 기술 적용 등과 같이 급격한 기술 발전이 이루어지는 분야에서 표준 설계를 어느 정도까지 기술할 것인가 하는 것이었다.

실제로 기술 발전 속도가 빠른 분야의 계통 및 설비에 대해서는 향후 기술 발전에 따라 그 설계가 달라질 수 있기 때문에 표준 설계 인가 심사 단계에서 설계를 미리 확정하는 것은 어려움이 있었다.

따라서 다양한 논의를 거쳐 이러한 분야는 표준설계기술서에 기본 설계 내용과 설계에 대한 허용 기준만을 명시하여 심사하고, 상세한 설계 내용은 다음 인허가 단계에서 검토하는 것으로 정리하였다.

표준 설계 심사 과정에서는 또한 <표 4>에서 보는 바와 같이 각 전문 분야에서 다양하고 구체적인 안전 현안들을 도출, 제기하였다.

이들 안전 현안을 해결하기 위해 사업자와 심사자는 수 차례의 기술 회의와 국내외 전문가를 활용하여 APR1400 표준 설계의 안전성을 증진한다는 측면에서 그 해결 방안을 모색해 나갔다.

결과적으로 주요 현안들에 대한 적합한 해결 방안이 모색되어, 후속 참조 원전 설계에 반영하기로 하였으며, 관련된 상세 설계 혹은 해석 자료들이 참조 원전 인허가 단계에서 추가적으로 확인, 검토하는 것으로 정리되었다.

최종적으로 2002년 5월 과학기술부는 한국원자력안전기술원의 심사 결과를 근거로 원자력안전위원

<표 4> 표준 설계 인가 심사 주요 안전 현안

번호	안전 심사중 도출 및 논의된 주요 안전 사항
1	지반-구조물 상호 작용 해석 코드(SASSI 코드)의 검증 보완
2	운전 기준 지진(OBE)하중과 안전 정지 지진(SSE) 하중의 연계 타당성
3	안전 등급 기기에 대한 기준 코드(KEPIC Code) 적용성
4	가압기 밀림관 LBB 작용 하중의 타당성
5	LBB 배관에서 열성층 및 난류 관통의 정량적 평가
6	RCS 누설 감시 계통(3개)의 독립성 입증
7	환경 영향(60년 수명)을 고려한 ASME Code 피로 해석 곡선 제시
8	POSRV/MSSV 설정값에 대한 허용 오차 및 시험 방법
9	격납 건물 내 핵연료 재장전수 탱크(IRWST)의 열수력 성능 분석
10	디지털 보호 계통의 심층 방어 및 다양성 확보
11	디지털 기반 PPS/ESF-CCS 설계에 적합한 운영기술지침서 개발
12	원자로 보호 계통 트립 설정시 설정 방법 및 비안전 I&C 계통의 환경 검증 자료 제시
13	대체 교류 전력(AAC)용 발전기 용량 적절성
14	액체 폐기물 관리 계통의 설계 자료 제시 및 유출물 관리 강화
15	주제어실 등 필수 구역의 방사선 방호 설계 기준
16	제어봉 이탈 사고 방사선 결말 분석시 소외 피폭 선량 재해석
17	SG 세관 파단 사고(SGTR+LOOP+SF)시 소외 피폭 선량 재해석
18	원자로 정지 불능(ATWS) 과압 사고에 대한 압력 방출 능력 상세 분석
19	개정 사고선원항(NUREG-1465)의 적용성
20	주제어실의 대형 정보 표시판, 개량 정보 설계, 소프트웨어 설계의 인간공학 적합성
21	전산화 절차에 따른 인간공학 요소 고려
22	수소 완화 계통의 설계 성능 및 평가 방법
23	원자로 외벽 냉각에 의한 노심 용융물 유출 억제(IVR)의 성능 등

회 심의를 거쳐 APR1400 표준 설계에 대한 인가를 승인하게 되었다.

본 표준 설계 인가의 유효 기간은 10년이며, 국내 최초로 대용량 원전의 표준 설계를 참조한 원전의 반복 건설을 가능하게 했다는 의미를 가지게 되었다.

3. 심사의 후속 조치

상기 언급한 바와 같이 2002년 5월, 과학기술부는 종합적인 안전 심사를 거쳐 APR1400 표준 설계에

대한 인가를 승인하였으며, 기술적으로는 신설계 및 운전 경험과 관련된 3건의 후속 조치 사항을 부과하였다.

아래 정리된 3건의 후속 조치는 참조 원전 건설 허가 신청 전까지 이행하도록 요구하였으며, 이에 따라 사업자는 2003년 9월 후속 조치 이행 보고서를 과학기술부에 제출한 바 있다.

한국원자력안전기술원에서는 이에 대한 검토를 수행하여 2004년 8

월 종료한 바 있으며, 검토 결과는 전반적으로 후속 조치 이행 방안이 적절하다는 것이었고, 상세한 내용에 대해서는 후속 참조 원전 건설 허가 심사 단계에서 검토되고, 확인되는 것으로 정리되었다.

첫째, 가동 원전의 운전 경험으로 증기발생기 전열관의 마모 손상 억제 대책, 열수력 해석결과 및 유체 유동 유발 진동 평가 결과를 포함한 예비 설계 보고서를 제출하도록 요구하였다.



둘째, 신설계인 원자로 용기 직접 주입 방식(DVI)의 안전 주입 계통 설계와 관련하여 대형 냉각계 상실 사고(LBLOCA) 후 강수부에서 나타나는 후기 가열 현상 등에 관한 예비 불확실성 분석 보고서를 제출하도록 요구하였다.

셋째, 디지털 계측 및 제어 설계와 관련하여 소프트웨어 및 안전 제어반의 설계 적합성 입증 자료와 원격정지제어실(1개) 설계 타당성 분석 자료를 제출하도록 요구하였다.

APR1400 참조 원전의 안전 규제 방향

APR1400 표준 설계를 참조한 최초의 원전은 신고리 3,4호기로 한수원(주)은 표준 설계인가 내용을 보완하여 2003년 9월 신고리 부지 자료와 함께 건설 허가를 신청하였다.

신고리 3,4호기는 최초로 대용량 APR1400 표준 설계를 반복 건설하는 원전이며, 후속 신울진 1,2호기도 동 표준 설계를 참조로 건설할 계획에 있다.

현재, 한국원자력안전기술원은 지난 10년간의 안전 규제 요건 개발 경험, 약 2년간의 표준설계 인가 심사 경험, 그리고 운영중인 표준형원전의 심?검사 경험을 바탕으로 전문분야별로 신고리 3,4호기의 부지 적합성, 설계 안전성, 환경 영향 분석의 적합성 등에 대해 심층적인 심사를 수행하고 있다.

본 안전 심사에 대한 기본적인 규제 방향은 첫째, 신고리 3,4호기가 APR1400 표준 설계를 참조로 하고 있으므로 표준 설계 인가 심사 결과를 활용하고, 표준 설계 인가시에 요구한 후속 조치 이행 사항 등을 확인, 검토할 것이다.

따라서 표준 설계 인가 심사 과정에서 이미 승인된 기술적 사항은 그 설계 내용을 인정하고 중복적인 검토는 피하고자 하며, 다만 설계가 승인된 사항이라 할지라도 관련 상세 분석 및 설계 자료가 추가적으로 검토·확인될 것이다.

둘째, 신고리 3,4호기는 부지가 선정된 건설 원전이므로 주요 건설 허가 안전 심사는 1) 표준 설계 인가 심사 과정에서 발전소 고유 사항으로 검토가 제외된 부지 및 환경과 관련한 사항, 2) 표준 설계 인가 심사 중에 제기되어 해결된 주요 안전 현안의 반영 사항, 3) 표준설계 인가 이후 변경된 설계 사항, 4) 가동 원전의 운전 경험 등과 관련된 사항 등에 중점을 두어 심사를 수행할 것이다.

셋째, 안전 기준으로서 국내 원자력법령과 더불어, 안전 정책으로서 과학기술부에서 공포한 원자력안전 정책성명과 중대사고정책성명의 내용을 참조하여 심사를 수행할 것이다.

결론

원자력발전소의 안전성은 경제성 제고뿐만 아니라 국민의 신뢰도 향

상에 필수적인 요소이며, 과학기술부의 원자력안전정책성명에서도 공포한 바와 같이 신규 원전 개발에서는 안전성을 최우선으로 다룰 것을 권고하고 있다.

또한 원자력발전소의 안전성은 원전의 운영뿐만 아니라 설계, 건설, 해체 등 원전의 전 수명 기간에 걸쳐 체계적으로 확보되어야 한다.

이에 따라, APR1400 안전 규제 기술과 관련해서는 지난 10년간의 안전 규제 요건 개발 경험, 약 2년간의 표준 설계 인가 심사 경험, 그리고 운영중인 표준형원전의 심?검사 경험을 바탕으로 종합적이고 체계적인 안전 심사 체계를 구축하였다고 볼 수 있다.

특히, 표준 설계 인가 제도의 도입 및 활용 경험은 사업자에게는 새로운 설계에 대한 인허가의 안정성을 제공하고 규제 기관에는 규제 업무 수행에 있어서 효율성을 제고해 주었다고 말할 수 있다.

따라서 APR1400에 대한 지난 15년간의 규제 기술 개발 및 인허가 경험이 신고리 3,4호기는 물론 후속 신형 원자로 건설의 안전성 및 신뢰성을 제고해 줄 것으로 기대할 수 있다.

다만, 신고리 3,4호기가 국내 최초로 건설되는 대용량 원전임을 고려하여 설계 단계, 건설단계 및 운영 단계의 종합적인 안전성 확인 및 확보를 위해 사업자, 설계자, 제작자, 규제 기관의 공동 노력이 필요하다고 본다. ☉